

УДК 627.514:624.139

## МНОГОЯРУСНЫЙ ГИДРООТВАЛ В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Канаш Н.С.

Научный руководитель – профессор Кузнецов Г.И.

*Сибирский федеральный университет*

Развитие природоохранных технологий складирования промышленных отходов – хвостов рудообогатения, золошлаков ТЭС и шламов в суровых климатических условиях требует решения следующих проблем (Кузнецов Г.И. «Проблемы безопасности специальных гидросооружений в условиях Сибири», Известия вузов. Строительство №3, 2002):

- гидроизоляция бортов, ложа и ограждающих дамб гидроотвалов;
- регулирование фильтрационного режима системы дамба–основание–намывной массив гидроотвала;
- теплоизоляция дренажных систем и обеспечение устойчивости дамб при промерзании низовых откосов.

При нормальном режиме эксплуатации в случае промерзания внешнего откоса массива гидроотвала фильтрационный поток свободно разгружается в незамерзающий дренаж.

Крайне неблагоприятный режим эксплуатации гидроотвала формируется при зимнем промерзании внешнего откоса, при отказе дренажной системы или при неправильном ее проектировании. В таких случаях у подошвы откоса или на гребне ограждающей дамбы образуются нерегулируемые выходы фильтрационного потока и наледи, еще более осложняющие ситуацию.

Наледи в сочетании с промерзанием сооружения затрудняют выход фильтрационного потока; не имея возможности разгрузиться в дренаж, поток оказывает взвешивающее давление на поверхностный мерзлый слой. Как показывают натурные наблюдения (Сысоев Ю.М., Кузнецов Г. И. «Проектирование и строительство золоотвалов», Энергоатомиздат, 1990), это может привести к выпору мерзлой корки и обрушению сооружения.

При отказе дренажной системы и неизбежном подъеме кривой депрессии необходимо учитывать силовое воздействие фильтрационного потока на мерзлую водонепроницаемую корку, образующуюся на поверхности откоса при промерзании, этот фактор может быть учтен по способу, дополняющему известный метод А.А. Ничипоровича. Соответствующая формула для определения коэффициента запаса устойчивости имеет вид:

$$K = \frac{\sum (G_n P_n^e) \cos \alpha_n + \sum C_n l_n}{\sum G_n \sin \alpha_n + \sum P_n^f r_n / R} \quad (1)$$

Равнодействующая эпюры взвешивающего давления  $P_n$  на рассматриваемом участке приложена в точке  $A$  к нижней поверхности непроницаемого мерзлого слоя и направлена по нормали к ней, рис. 1. Горизонтальная составляющая  $P_n^f$  учитывается как дополнительное сдвигающее усилие при определении момента сдвигающих сил относительно центра вращения расчетного тела обрушения;  $r_n$  - плечо этой силы относительно центра вращения. Вертикальная составляющая  $P_n^e$  учитывается в

качестве подъемной (отрывающей) силы при определении веса отсека  $G_n$ , который соответственно уменьшается на величину  $P_n^6$ . Остальные обозначения:  $\Phi_n$  - равнодействующая фильтрационного давления в традиционной трактовке, действующая в объеме талого грунта п-отсека ниже кривой депрессии в зоне безнапорной фильтрации и ниже подошвы мерзлого слоя на участке напорной фильтрации; она приложена в центре подошвы отсека (в точке Б) и направлена по нормали к поверхности скольжения;  $tg\varphi_n$ ,  $C_n$  - коэффициент внутреннего трения и сцепление на подошве расчетного отсека;  $l_n$  - длина подошвы п-отсека, определяемая по круглоцилиндрической кривой скольжения;  $h_M$  - глубина промерзания откоса; величины  $R$  - радиус кривой скольжения и  $\alpha$  обозначены на рис.1. В отсеках, где кривая скольжения пересекает мерзлые слои, значения  $\varphi_n$ ,  $C_n$  принимаются в зависимости от температуры грунта в момент расчета (например, в оценке «зимней» устойчивости при максимальной мощности слоя сезонного промерзания и в оценке «весенней» устойчивости, когда под оттаявшим с поверхности водонасыщенным слоем сохраняется сравнительно тонкая водонепроницаемая мерзлая прослойка).

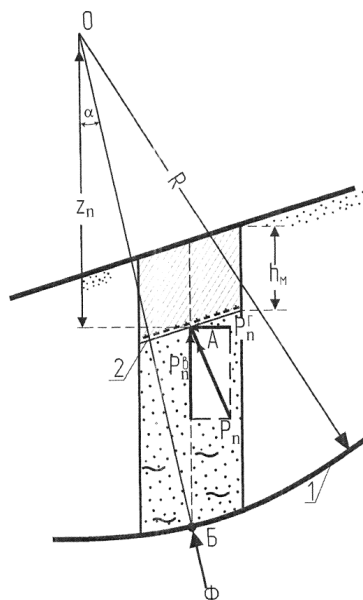


Рис. 1 Силы, действующие на отсек обрушения (обозначения в тексте)  
1 – кривая скольжения; 2 – подошва мерзлого слоя на откосе

При образовании отдельных выходов фильтрационного потока на поверхность промерзающего откоса дамбы для его укрепления рекомендуется использовать локальные дренажи.

Для решения проблемы безопасности гидроотвалов в суровых климатических условиях представляет интерес предлагаемая авторами намерзающая дренажная система многоярусного гидроотвала (рис. 2).

Основными элементами такого дренированного гидроотвала являются первичная дамба, расположенный вдоль нее основной дренаж и вторичные дамбы, размещенные на пляже намыва и образующие последующие ярусы наращивания гидроотвала. Пространственная дренажная система состоит из продольных дренажных лент, уложенных вдоль вторичных дамб, поперечных дренажных лент и вертикальных дренажей, соединяющих дренажные ленты друг с другом и с основным дренажом.

Вертикальные дренажи выполнены в виде скважин, заполненных фильтрующим материалом (например, крупным песком) или в виде сборных элементов из

водопроницаемого пористого бетона; высота этих дрен равна толщине соответствующего яруса.

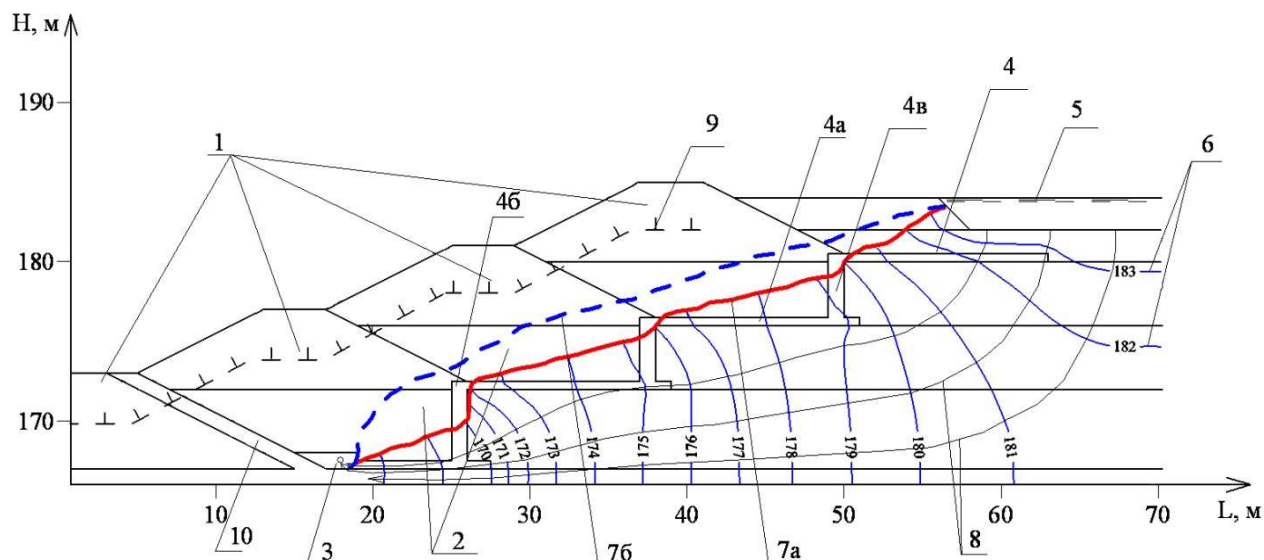


Рис. 2 Модель фильтрации

1 – первичная и вторичные дамбы ( $k_{\phi}=1,5$  м/сут.); 2 – ярусы намывных отложений ( $k_{\phi}=0,5$  м/сут.); 3 – основной дренаж ( $k_{\phi}=45,0$  м/сут.); 4 – пространственная дренажная система (4а – продольные дренажные ленты; 4б – поперечные дренажные ленты; 4в – вертикальные дрен,  $k_{\phi}=45,0$  м/сут.); 5 – отстойный пруд; 6 – эквипотенциали; 7а – кривая депрессии (предлагаемый вариант); 7б – кривая депрессии (при работе основного дренажа); 8 – линии тока; 9 – слой сезонного промерзания; 10 – противofiltrационный экран ( $k_{\phi}=0,002$  м/сут.)

Эффективность данной системы подтверждается результатами математического моделирования фильтрационного режима гидроотвала.

Анализ фильтрационной сетки (рис. 2), построенной для рассматриваемой модели многоярусного дренированного гидроотвала, позволяет утверждать, что предлагаемая дренажная система является достаточно эффективной. Практически весь массив поярусно наращиваемого гидроотвала находится в осушенном состоянии. Депрессионная поверхность располагается значительно ниже сезонномерзлого слоя, чем и гарантируется незамерзаемость дренажа.

Принятые в нашем расчете параметры гидроотвала и его дренажной системы вполне обеспечивают его безопасную эксплуатацию при глубоком (3 м и более) промерзании внешнего откоса.